

## CRUZAS INTERVARIETALES DE MAÍZ PARA LA REGIÓN SEMICÁLIDA DE GUERRERO, MÉXICO\*

### INTERVARIETAL MAIZE CROSSES FOR THE SEMI-WARM REGION OF GUERRERO, MEXICO

Francisco Palemón Alberto<sup>1</sup>, Noel Orlando Gómez Montiel<sup>2§</sup>, Fernando Castillo González<sup>1</sup>, Porfirio Ramírez Vallejo<sup>1</sup>, José Domingo Molina Galán<sup>1</sup> y Salvador Miranda Colín<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Recursos Genéticos y Productividad-Genética. Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco, km 36.5. Montecillo, Estado de México. C. P. 56230. Tel. y Fax. 01 595 9520200. Ext. 1510. (alpaf75@hotmail.com), (fcastill@colpos.mx), (ramirez@colpos.mx), (jmolina@colpos.mx), (smiranda@colpos.mx). <sup>2</sup>Campo Experimental Iguala. INIFAP. Carretera Iguala-Tuxpan, km 2.5. Iguala, Guerrero. C. P. 40000. Tel. 01 733 3321056. §Autor para correspondencia: noelorando19@hotmail.com.

#### RESUMEN

La orografía y agroecología del estado de Guerrero es muy diversa y en las áreas agrícolas de altitud intermedia (1 200 a 1 700 m), prácticamente no se siembran variedades mejoradas, debido a condiciones climáticas y edáficas poco favorables, por lo que dificulta establecer un programa de mejoramiento genético de maíz para cada nicho ecológico. En estas regiones se examinó la estabilidad de 25 variedades de maíz, durante cinco ciclos agrícolas verano-otoño de 2005 a 2009; con el propósito de identificar una craza intervarietal estable, consistente y con buen potencial de rendimiento a través de ambientes. La información se analizó en 20 variedades, usando un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones por localidad y combinando localidades. Con esta información se estimó los parámetros de estabilidad propuestos por Eberhart y Russell y descritos por Molina; además se aplicó el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI). Los progenitores masculinos V15 y V16 mostraron estabilidad y consistencia a través de ambientes; similar comportamiento mostraron las cruzas intervarietales V3, V7 y V9, además fueron sobresalientes en rendimiento de grano; V11 fue consistente y mostró mayor potencial productivo en ambientes desfavorables. Las cruzas intervarietales

#### ABSTRACT

The topography and agro-ecology of the Guerrero State is diverse and in agricultural areas of intermediate elevation (1 200 to 1 700 m), almost no improved varieties are planted, due to unfavorable climatic and soil conditions, so it is difficult to establish a maize breeding program for every ecological niche. In these regions, the stability of 25 maize varieties was examined, during five summer-autumn crop seasons from 2005 to 2009; aiming to identify an intervarietal cross that was stable, consistent and with good yield potential through the environments. The data was analyzed in 20 varieties, using a randomized complete block design with three replications by location and combining locations. Using this information, the stability parameters proposed by Eberhart and Russell, and described by Molina were estimated, also the additive main effects and multiplicative interaction model (AMMI) was applied. The V15 and V16 male parents showed stability and consistency through the environments; a similar behavior was shown by V3, V7 and V9 intervarietal crosses, they were also outstanding in grain yield; V11 was consistent and showed greater production potential in unfavorable environments. Intervarietal crosses V1, V4, V6, V10, farmer's local variety V13 and female parents V17, V18 and V20, showed good response in

\* Recibido: enero de 2011  
Aceptado: agosto de 2011

V1, V4, V6, V10, la variedad local del agricultor V13 y los progenitores femeninos V17, V18 y V20, mostraron buena respuesta en ambientes favorables pero fueron inconsistentes. Los dos métodos usados registraron resultados semejantes, por lo que fue posible seleccionar tres variedades por su potencial de rendimiento de grano, estabilidad y consistencia en los ambientes.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., rendimiento de grano, variedades tropicales y subtropicales.

## INTRODUCCIÓN

En la diversa orografía y agroecología del estado de Guerrero, México. El 94% de la superficie sembrada de maíz corresponde al ciclo agrícola de temporal, donde la precipitación pluvial varía de 800 a 1 200 mm, con distribución errática y sequía edáfica en suelos de lomerío, mientras que 6% restante la siembra es bajo condiciones de riego. No obstante, las siembras se efectúan en dos áreas climáticas: la cálida con alrededor de 350 mil hectáreas distribuidas en todo el estado y la semicálida de aproximadamente 100 mil hectáreas ubicadas en las regiones Centro, Norte y La Montaña; además, se distinguen cerca de 50 agro-ecosistemas de producción de maíces nativos combinado con cultivos como el frijol, calabaza, jamaica, chile, jitomate, etc., considerándose también los factores de clima, suelo y prácticas de cultivo (Preciado *et al.*, 2004).

Por otra parte, el rendimiento promedio estatal es de 2.1 t ha<sup>-1</sup>, en Guerrero se siembran 125 mil hectáreas en las regiones del Centro, Norte y Tierra Caliente, donde se logra obtener un rendimiento medio de 3.5 t ha<sup>-1</sup>, en suelos de mediano a alto potencial productivo; mientras que 250 mil hectáreas se encuentran distribuidas en todo el estado de Guerrero, bajo condiciones de suelos de mediano potencial productivo, donde el rendimiento promedio es similar al estatal y 75 mil hectáreas restantes están situadas en las Costa Chica y Grande, Centro y La Montaña, las cuales se consideran de alto riesgo, porque solo se logran rendimientos menores a 1 t ha<sup>-1</sup>.

Sin embargo, el presente trabajo se enfoca sólo en las áreas productoras de maíz (*Zea mays* L.), ubicadas en altitudes intermedias de 1 300 a 1 700 m. Estas regiones, comprenden una superficie de 55 500 ha, donde los maíces mejorados pueden adaptarse y adoptarse, principalmente en pequeños

favorable environments but were also inconsistent. The two methods used, showed similar results; so, it was possible to select three varieties by its grain yield potential, stability, and consistency in environments.

**Key words:** *Zea mays* L., grain yield, tropical and subtropical varieties.

## INTRODUCTION

The diverse topography and agro-ecology of Guerrero, Mexico, includes a 94% of maize planted area under rainfed conditions, where the rainfall varies from 800 to 1 200 mm, with erratic distribution and drought soil in slopes; while in the remaining 6%, seeding is under irrigated conditions. However, plantings are made in two climatic areas: warm with about 350 000 hectares distributed throughout the state and semi-warm with approximately 100 000 hectares located in the Central, North and The Mountains; there are also about 50 agro-ecosystems of native maize production, combined with crops such as beans, squash, hibiscus, chili pepper, tomatoes, etc., considering also climate factors, soil and farming practices (Preciado *et al.*, 2004).

On the other hand, the State's average yield is 2.1 t ha<sup>-1</sup>. In Guerrero, 125 000 hectares are planted in the Central, North and Tierra Caliente regions, where an average yield of 3.5 t ha<sup>-1</sup> is obtained, in soils of medium to high production potential; while 250 000 hectares are distributed throughout Guerrero state, under conditions of medium productive potential soils, where the average yield is similar to the state average and the remaining 75 000 hectares are located in the Costa Chica and Grande, Central and The Mountain, considered of high risk, because they only achieve yields of less than 1 t ha<sup>-1</sup>.

This paper focuses only on the production areas of maize (*Zea mays* L.), located at intermediate elevation from 1 300 to 1 700 m. These regions, comprise an area of 55 500 ha, where the improved maize can be adapted and adopted, mainly in small valleys and hills. In these agricultural areas there are no planted improved varieties or hybrids generated specifically for these regions; therefore, the adaptation degree of improved varieties available in the market for these environments is unknown. In the

valles y lomeríos. En estas áreas agrícolas no se siembran variedades mejoradas o híbridos generados específicamente para estas regiones; sin embargo, se desconoce el grado de adaptación de las variedades mejoradas disponibles en el mercado para estos ambientes. En las regiones intermedias de Guerrero algunas compañías privadas, han introducido híbridos que mostraron un comportamiento aceptable en un año específico, pero también un comportamiento errático a través de años, debido a la gran variación ambiental que se presenta entre años y localidades.

Por otra parte, para valorar la estabilidad e interacción variedad por ambiente, la metodología denominada parámetros de estabilidad es una de las herramientas más usadas (Finlay y Wilkinson, 1963; Eberhart y Russell, 1966), y también se ha propuesto la aplicación del modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) (Gauch y Zobel, 1988). La primera metodología estima el coeficiente de regresión ( $b_i$ ) y la varianza de las desviaciones de regresión ( $S^2_{di}$ ), para cada variedad evaluada en los ambientes; la segunda estructura el análisis de varianza en fuentes de variación, debido a variedades y ambientes (efectos principales aditivos) y considera a la interacción variedad por ambiente (efectos multiplicativos), con un análisis de componentes principales.

Acorde con los antecedentes señalados se planteo el siguiente objetivo: estudiar el comportamiento de cruzamientos y variedades progenitoras por su potencial de rendimiento, así como por su estabilidad, consistencia e interacción con los ambientes de evaluación, localizados en la región semicálida del estado de Guerrero, mediante el uso de los análisis de parámetros de estabilidad y AMMI.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material genético

Para atender la demanda de variedades mejoradas específicas para las regiones semicálidas de Guerrero el programa de mejoramiento genético de maíz del Campo Experimental Iguala del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP); desde la década de 1990 trabaja en el aprovechamiento de poblaciones nativas tanto para uso *per sé* como para fuentes de germoplasma en cruzamientos.

intermediate regions of Guerrero, some private companies have introduced hybrids that showed acceptable behavior in a specific year, but they also showed an erratic behavior through the years, due to the large environmental variation that occurs between years and locations.

Moreover, in order to assess the stability and variety by environment interaction, a method called stability parameters is one of the most used tools (Finlay and Wilkinson, 1963; Eberhart and Russell, 1966) and it has also been proposed the application of the additive main effects and multiplicative interaction model (AMMI) (Gauch and Zobel, 1988). The first method estimates the regression coefficient ( $b_i$ ) and the deviations regression variance ( $S^2_{di}$ ), for each variety tested in the environments; the second structure, analysis of variance in variation sources, due to varieties and environments (additive main effects) and considers the variety by environment interaction (multiplicative effects), with a main component analysis.

According to the background, the following objective was proposed: to study the behavior of crosses and parent varieties by their yield potential and its stability, consistency and interaction with the assessment environments, located in the semi-warm region of Guerrero, through the use of stability parameters analysis and AMMI.

## MATERIALS AND METHODS

### Genetic material

In order to meet the demand of improved varieties specific for semi-warm regions of Guerrero, the maize breeding program of Iguala Experimental Field of the National Research Institute for Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP); since 1990, works on the use of native populations for both use and as sources of germplasm for crosses.

Similarly, in the Colegio de Postgraduados in Agricultural Sciences, Montecillo, Mexico State; the adaptation of seven tropical varieties to Highlands (2 250 m altitude) began, having accumulated more than 10 years of selection. These populations were observed again in the Iguala Experimental Field, where they showed a good adaptation degree and desirable agronomic traits.

Paralelamente, en el Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, Estado de México, se inició la adaptación de siete variedades tropicales a Valles Altos (2 250 m altitud), a la fecha han acumulado más de 10 años de selección. Estas poblaciones se observaron nuevamente en el Campo Experimental Iguala, donde mostraron buen grado de adaptación y características agronómicas deseables.

En este trabajo se usaron dos grupos de germoplasma de maíz de polinización libre, donde el primer grupo correspondió a progenitores femeninos comprendido por las variedades VS-521, VS-529, SINT-3-HE y HEI-1, las cuales fueron seleccionadas para adaptación en condiciones ambientales de Valles Altos de México, específicamente en el *Campus* Montecillo del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas (CP) (2 240 m altitud), de 1991 a 2002.

El segundo grupo fue integrado por tres progenitores masculinos de polinización libre: complejo interracial subtropical (CIST) y las variedades experimentales VE-1 y VE-3 formadas con el cruzamiento de una variedad tropical con una población nativa de tipo semi-ancho, las cuales fueron adaptadas específicamente a la región semicálida de Guerrero. Con estos dos grupos de progenitores se generaron cruza intervarietales mediante un esquema de cruzamiento factorial. En este contexto, se referirá como variedades a las poblaciones progenitoras y sus cruzamientos.

### Localidades de evaluación

Las actividades de campo se realizaron en dos etapas. En la primera se incrementó la semilla de los progenitores y se generaron las cruza intervarietales en los ciclos agrícolas otoño-invierno de los años 2005, 2006, 2007, 2008 y 2009, en el Campo Experimental Iguala, perteneciente al INIFAP. En la segunda etapa se evaluaron en distintas condiciones agroclimáticas las 12 cruza intervarietales, siete progenitores, cinco testigos comerciales (VS-535, VS-558, DK-357, TIGRE y H-516), más la variedad local (maíz pepitilla) de cada agricultor que se utilizó como testigo, para identificar poblaciones con buenas características agronómicas y con potencial genético en ambientes específicos, definidos por el clima, suelo y manejo agronómico (Eberhart y Russell 1966). Los experimentos se condujeron en condiciones de temporal en los ciclos agrícolas de primavera-verano de 2005 - 2009 (Cuadro 1).

In this paper were used two groups of germplasm of open-pollinated maize, the first one corresponded to the female parents, comprising the VS-521, VS-529, SINT-3-HE and HEI-1 varieties, which were selected for adaptation to environmental conditions of High Valleys of Mexico, specifically in the Montecillo *Campus* of the Colegio de Postgraduados of Agricultural Sciences (CP) (2240 m altitude), from 1991 to 2002.

The second group was composed by three open-pollinated male parents: subtropical interracial complex (CIST) and experimental varieties VE-1 and VE-3, formed by crossing a tropical variety with a native population of semi-wide type, which were specifically adapted to semi-warm region of Guerrero. With these two sets of parents, the intervarietal crosses were generated by factorial mating scheme. In this context, progenitor populations and their crosses will be referred as varieties.

### Evaluation locations

The field activities were conducted in two stages. In the first one, the parental seeds were increased and the intervarietal crosses were generated in the agricultural cycles of autumn-winter 2005, 2006, 2007, 2008 and 2009 at the Iguala Experimental Field, belonging to INIFAP. In the second one, the 12 intervarietal crosses were evaluated in different agro-climatic conditions, seven parents, five commercial controls (VS-535, VS-558, DK-357, TIGRE and H-516), plus the local variety (Pepitilla maize) of each farmer which was used as control, in order to identify populations with good agronomic characteristics and genetic potential in specific environments, defined by climate, soil and agronomic management (Eberhart and Russell, 1966). The experiments were conducted under rainfed conditions in the agricultural cycles of spring-summer 2005-2009 (Table 1).

### Experimental design and crop management

The experiments were randomized using a triple lattice 5\*5 experimental design, which included 12 intervarietal crosses, seven parents, five commercial controls and the farmer's local variety. The experimental unit had two rows of 5 m long and 0.85 m wide. It was fertilized with 90-60-00 formula. Each experiment was conducted by the cooperating farmer in each locality. The studied variable for years and locations was the grain yield ( $\text{t ha}^{-1}$ ) adjusted at 12% humidity for 16 environments.

**Cuadro 1. Características climáticas (García, 1988) y localidades del estado de Guerrero, donde se evaluaron los experimentos. Primavera-verano, 2005-2009.**

**Table 1. Climatic characteristics (García, 1988) and locations in Guerrero, where the experiments were evaluated. Spring-Summer, 2005-2009.**

Localidades	Clima	Altitud (m)	Latitud N	Longitud O	Precipitación (mm)
Iguala	Aw <sub>0</sub> (w) (i') g	750	17° 52' 54''	99° 09' 55''	977
Acatlán	(A) Cb (w <sub>0</sub> ) (w) (i') gw''	1 296	17° 39' 26''	99° 09' 55''	833
Santa Ana	(A) Cb (w <sub>0</sub> ) (w) (i') gw''	1 336	17° 39' 26''	99° 09' 55''	833
Olinalá	Aw <sub>1</sub> (w) (i') g	1 535	17° 48' 15''	98° 45' 53''	1 065
Teloloapan	A (C) w <sub>2</sub> (w) ig	1 521	18° 21' 16''	99° 51' 58''	1 231
Ahuacatlán	A (C) w <sub>2</sub> (w) ig	1 620	18° 21' 30''	99° 48' 47''	1 231

Los años de prueba por localidad fueron: Iguala 2008; Acatlán 2005; Santa Ana 2006 y 2007; Olinalá 2005-2008; Teloloapan 2005-2009; Ahuacatlán: 2006-2008.

### Diseño experimental y manejo agronómico

Los experimentos se aleatorizaron usando el diseño experimental látice triple 5\*5, donde se incluyeron 12 cruzas intervarietales, siete progenitores, cinco testigos comerciales y la variedad local del agricultor. La unidad experimental fue de dos surcos de 5 m de largo y 0.85 m de ancho. Se fertilizó con la fórmula 90-60-00. Cada experimento fue conducido por el agricultor cooperante de cada localidad. La variable de estudio, para años y localidades, fue el rendimiento de grano (t ha<sup>-1</sup>) ajustado a 12% de humedad para los 16 ambientes.

### Análisis estadístico

Para el análisis estadístico, la información por localidad simple se analizó como un diseño de bloques completos al azar (se eliminaron los cinco testigos comerciales por falta de información en algunos años de evaluación), razón por la cual sólo se consideraron 20 variedades: de estas fueron siete progenitores, las 12 cruzas posibles y la variedad local del agricultor. En los análisis de regresión se tomó en cuenta los promedios por variedad y por localidad para estimar los coeficientes de regresión (b<sub>i</sub>) y las desviaciones de regresión (S<sup>2</sup><sub>di</sub>) sugeridos por Eberhart y Russell (1966) y Molina (1992).

Para el análisis de estabilidad de cada variedad se utilizó el siguiente modelo estadístico:  $Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij}$ . Donde:  $i = 1, 2, 3, \dots, v$  (variedades);  $j = 1, 2, 3, \dots, n$  (ambientes);  $Y_{ij}$  = comportamiento de la  $i$ -ésima variedad en el  $j$ -ésimo ambiente (promedio de repeticiones);  $\mu_i$  = media de la  $i$ -ésima variedad sobre todos los ambientes (promedio de repeticiones y ambientes);  $\beta_i$  = coeficiente de regresión que mide la respuesta de la  $i$ -ésima variedad en los diferentes

### Statistical analysis

For statistical analysis, the simple location information was analyzed as a randomized complete block design (five commercial controls were eliminated due to lack of information in some assessment years), only 20 varieties were considered: seven parents, the 12 possible crosses and the farmer's local variety. In the regression analysis, the average per variety and location were considered, in order to estimate the regression coefficients (b<sub>i</sub>) and deviations from regression (S<sup>2</sup><sub>di</sub>) suggested by Eberhart and Russell (1966); Molina (1992).

For the stability analysis of each variety, the following statistical model was used:  $Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij}$ . Where:  $i = 1, 2, 3, \dots, v$  (varieties);  $j = 1, 2, 3, \dots, n$  (environments);  $Y_{ij}$  = behavior of the  $i$ -th variety in the  $j$ -th environment (replicates average);  $\mu_i$  = mean of the  $i$ -th variety on all environments (average of replicates and environments);  $\beta_i$  = regression coefficient that measures the  $i$ -th variety response in different environments;  $\delta_{ij}$  = deviation of regression of the  $i$ -th variety at the  $j$ -th environment;  $I_j = (\sum Y_{ij} / v) - (\sum Y_{ij} / vn)$  = environmental index; i. e.,  $I_j$  is the difference between the mean of all varieties in the  $j$ -th environment minus the general mean. The classification of the varieties behavior was made according to the description used by Carballo and Márquez (1970), based on the values obtained from the b<sub>i</sub> and S<sup>2</sup><sub>di</sub> parameters.

There was also conducted the AMMI model analysis, proposed by Gauch and Zobel (1988), which involves principal component analysis (PCA) to examine the non-additive effects of the variety by environment interaction (Gollob, 1968). The AMMI model consists of additive and multiplicative parameters, the model is:  $Y_{ij} = \mu + G_i + A_j + \Sigma$

ambientes;  $\delta_{ij}$ = desviación de regresión de la *i*-ésima variedad en el *j*-ésimo ambiente;  $I_j = (\sum Y_{ij}/v) - (\sum Y_{ij}/vn) =$  índice ambiental; es decir,  $I_j$  es la diferencia entre la media de todas las variedades en el *j*-ésimo ambiente menos la media general. La clasificación del comportamiento de las variedades se hizo de acuerdo con la descripción utilizada por Carballo y Márquez (1970) en función de los valores obtenidos de los parámetros  $b_i$  y  $S^2_{di}$ .

Además se realizó el análisis del modelo AMMI, propuesto por Gauch y Zobel (1988), el cual involucra componentes principales (ACP) para analizar los efectos no aditivos de interacción variedad por ambiente (Gollob, 1968). El modelo AMMI está conformado por parámetros aditivos y multiplicativos, el modelo es:  $Y_{ij} = \mu + G_i + A_j + \sum B_n t_{in} \delta_{jn} + E_{ij}$ ; donde  $Y_{ij}$ = rendimiento promedio de la *i*-ésima variedad en el *j*-ésimo ambiente;  $\mu$ = efecto de la media general;  $G_i$ = efecto de la *i*-ésima variedad;  $A_j$ = efecto del *i*-ésimo ambiente;  $N$ = número de componentes principales retenidos en el modelo;  $B_n$ = valor singular para cada componente principal;  $t_{in}$ = valores en los vectores de las variedades para cada componente principal;  $\delta_{jn}$ = valores de vectores de los ambientes para cada componente principal;  $E_{ij}$ = residuo que corresponde al error experimental. Los análisis se realizaron con el programa SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2002).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de parámetros de estabilidad por Eberhart y Russell

El análisis de varianza combinado para rendimiento de grano mostró diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ), entre variedades e interacción variedades por ambientes (Cuadro 2); es decir, las cruzas intervarietales y sus progenitores mostraron comportamiento relativamente variable a través de los ambientes involucrados, debido a la heterogeneidad de las condiciones de suelo, clima, precipitación pluvial de los sitios y años de evaluación. Por otra parte, el análisis de varianza de los parámetros de estabilidad propuestos por Eberhart y Russell (1966) y descritos por Molina (1992), reveló diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre variedades y ambientes anidados en variedades (Cuadro 2).

$B_n t_{in} \delta_{jn} + E_{ij}$ ; where  $Y_{ij}$ = average yield of the *i*-th variety in the *j*-th environment;  $\mu$ = effect of the overall mean;  $G_i$ = effect of *i*-th variety;  $A_j$ = effect of *i*-th environment;  $N$ = number of principal components retained in the model;  $B_n$ = unique value for each main component;  $t_{in}$ = values in varieties vectors for each major component;  $\delta_{jn}$ = environments vector values for each major component;  $E_{ij}$ = residue which corresponds to experimental error. Analyses were performed with SAS version 9.0 (SAS Institute, 2002).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Analysis of stability parameters by Eberhart and Russell

The combined analysis of variance for grain yield showed highly significant differences ( $p < 0.01$ ) between varieties and varieties by environment interaction (Table 2); i. e., intervarietal crosses and their parents showed a relatively variable behavior through the involved environments, due to the heterogeneity of soil conditions, climate, and precipitation of sites and years of evaluation. On the other hand, the analysis of variance of the stability parameters proposed by Eberhart and Russell (1966) and described by Molina (1992), revealed significant differences ( $p \leq 0.01$ ) between varieties and environments nested in varieties (Table 2).

The environmental variation relatively influenced the expression of yield potential of each variety, especially in the environments: Acatlan, Ahuacatitlan, Iguala, Olinalá, Santa Ana and Teloloapan, Guerrero (Eberhart and Russell, 1966); so, the varieties performance varied under different agro-ecological conditions in which they were evaluated (Ali *et al.*, 2003). This suggests that it is possible to select varieties with better genetic potential and stability in a series of environments or for specific conditions, as indicated by Eberhart and Russell (1966); De León *et al.* (2005). Note that the average yield of the 20 varieties, a variation in yield potential was observed. This result considers the importance of conducting evaluations at multiple locations and years, in order to observe the varieties response in different testing environmental conditions (Becker and León, 1988; Fikere *et al.*, 2008).

**Cuadro 2. Análisis de varianza para estimar parámetros de estabilidad de 20 variedades de maíz evaluadas en 16 ambientes del estado de Guerrero. Primavera-verano, 2005-2009.**

**Table 2. Analysis of variance for estimating stability parameters of 20 maize varieties, evaluated in 16 environments of Guerrero state. Spring-Summer, 2005-2009.**

Fuente de variación	GL	SC	CM
Variedades	19	71.19	3.747**
Ambientes/variedades	300	540.15	1.8**
Ambientes (lineal)	1	409.54	409.541**
Variedades*ambientes (lineal)	19	10.31	0.543**
Desviaciones conjuntas	280	120.29	0.43**
Error conjunto	608	113.67	0.187

\*\*= altamente significativo.

La variación ambiental influyó de manera relativa en la expresión del potencial de rendimiento de cada variedad, en particular en los ambientes Acatlán, Ahuacatitlán, Iguala, Olinalá, Santa Ana, y Teloloapan, Guerrero (Eberhart y Russell, 1966), por lo que el comportamiento de las variedades varió bajo las diversas condiciones agroecológicas en las que fueron evaluadas (Ali *et al.*, 2003). Lo anterior sugiere que es posible seleccionar variedades con mejor potencial genético y estabilidad en una serie de ambientes o para condiciones específicas, como lo señalan Eberhart y Russell (1966); De León *et al.* (2005). Cabe mencionar que en el rendimiento promedio de las 20 variedades, se observó variación en el potencial productivo. Este resultado considera la importancia de conducir evaluaciones en varias localidades y años, para observar la respuesta de las variedades en diferentes condiciones ambientales de prueba (Beckery León, 1988; Fikere *et al.*, 2008).

Para la identificación y clasificación de las variedades de maíz por su estabilidad, con base en los estimadores de los coeficientes de regresión ( $b_i$ ) y desviaciones de regresión ( $S^2_{di}$ ) para las seis categorías propuestas por Carballo y Márquez (1970), se consideraron los siguientes escenarios con relación a los valores de los coeficientes de regresión  $b_i > 1$ ,  $b_i = 1$ ,  $b_i < 1$  y las desviaciones de regresión  $S^2_{di} > 0$ ,  $S^2_{di} = 0$ ; de estas se identificaron cinco de los seis posibles grupos (Cuadro 2), de la forma siguiente:

A) las variedades V3, V7, V9, V12, V15 y V16 presentaron  $b_i = 1$ ; y  $S^2_{di} = 0$ ; es decir, fueron estables y consistentes; las primeras cuatro corresponden a cruza intervarietales y las dos últimas a progenitores masculinos.

B) con  $b_i = 1$  y  $S^2_{di} > 0$ , con respuestas proporcionales al potencial de los ambientes e inconsistentes, lo integraron las variedades V1, V4, V6, V10, V13, V17, V18 y V20,

For the identification and classification of maize varieties by its stability, based on the estimates of regression coefficients ( $b_i$ ) and deviation from regression ( $S^2_{di}$ ) for the six categories proposed by Carballo and Marquez (1970), there were considered the following scenarios respect to the values of the regression coefficients  $b_i > 1$ ,  $b_i = 1$ ,  $b_i < 1$  and deviations from regression  $S^2_{di} > 0$ ,  $S^2_{di} = 0$ ; from these five of the six possible groups were identified (Table 2), as follows:

A) varieties V3, V7, V9, V12, V15 and V16 showed  $b_i = 1$ ; y  $S^2_{di} = 0$ ; i. e., they were stable and consistent; the first four correspond to intervarietal crosses and the last two to male parents.

B) with  $b_i = 1$  and  $S^2_{di} > 0$ , with proportional responses to the potential of the environments and inconsistent, where integrated to V1, V4, V6, V10, V13, V17, V18 and V20 varieties; of these, the first four are intervarietal crosses, the fifth is the local variety and the last three are for female parents.

C) regression coefficients  $b_i < 1$  and regression deviations  $S^2_{di} = 0$ , V2 and V11 intervarietal crosses responded better in hostile environments, they also had consistent responses; i. e., they cushioned better the critical environmental conditions, because one of their parents was formed with drought-tolerant germplasm (Alcazar and Sierra, 1984).

D) V14 and V19 parents, presented regression coefficients  $b_i < 1$  and regression deviations  $S^2_{di} > 0$ , and responded better in hostile environments but they were inconsistent; however, they participated in stable intervarietal crosses of high grain yield, which is what was expected to find and its cross was stable.

de éstas, las cuatro primeras son cruza intervarietales, la quinta es la variedad local y las tres últimas corresponden a progenitores femeninos.

C) coeficientes de regresión  $b_i < 1$  y desviaciones de regresión  $S^2_{di} = 0$ , las cruza intervarietales V2 y V11 respondieron mejor en ambientes desfavorables, además tuvieron respuestas consistentes; es decir, amortiguaron mejor las condiciones ambientales críticas, debido a que uno de sus progenitores fue formado con germoplasma que tolera la sequía (Alcazar y Sierra, 1984).

D) los progenitores V14 y V19, presentaron coeficientes de regresión  $b_i < 1$  y desviaciones de regresión  $S^2_{di} > 0$ , respondieron mejor en ambientes desfavorables pero fueron inconsistentes; sin embargo, participaron en cruza intervarietales estables de alto rendimiento de grano, que es lo que se esperaba encontrar y más aún su cruzamiento fue estable.

E)  $b_i > 1$  y la  $S^2_{di} > 0$ , en este grupo se ubicaron las variedades V5 y V8, que respondieron mejor en ambientes favorables y fueron inconsistentes; ya que su rendimiento tiende a ser bajo en condiciones ambientales críticas y responden diferencialmente en ambientes específicos (Becker y León, 1988; Ali *et al.*, 2003), fenómeno conocido como interacción genotipo por ambiente (Byth, 1981). Este tipo de comportamiento dificulta la selección de genotipos de buen potencial genético (Eberhart y Russell 1966), porque son inconsistentes en los ambientes.

Las variedades de alto potencial productivo que resultaron sensibles a los cambios ambientales, significa que probablemente respondan mejor en diferentes ambientes a las de este estudio y ser una buena opción en la explotación comercial como cruza intervarietales. Las cruza sobresalientes en rendimiento de grano fueron V3 y V7, clasificadas como estables y consistentes; en tanto que V1, V5 y V10, se consideraron como inconsistentes. La variedad V11 puede considerarse como germoplasma interesante por su alto rendimiento de grano, consistencia y buena respuesta en ambientes semicálidos desfavorables del estado de Guerrero. Este resultado sugiere que los progenitores masculinos y femeninos utilizados, poseen buena base genética obtenida durante el proceso de selección, ya que generaron cruza idóneas para responder en condiciones ambientales tanto favorables como adversas (Córdova, 1991).

E)  $b_i > 1$  y la  $S^2_{di} > 0$ ; in this group were found V5 and V8 varieties, which responded better in favorable environments and were inconsistent; its performance tends to be low in critical environmental conditions and respond differently in specific environments (Becker and León, 1988; Ali *et al.*, 2003), this phenomenon is known as genotype by environment interaction (Byth, 1981). Such behavior makes difficult to select genotypes with good genetic potential (Eberhart and Russell 1966), because they are inconsistent in environments.

The highly productive varieties that were susceptible to environmental changes, would probably respond better in different environments to those of this paper and they might be a good choice for commercial exploitation as intervarietal crosses. The outstanding crosses in grain yield were V3 and V7, they were classified as stable and consistent; while V1, V5 and V10, were considered as inconsistent. The V11 variety can be considered as an interesting germplasm due to its high grain yield, consistency and good response in unfavorable semi-warm environments of Guerrero. This result suggests that male and female parents used have a good genetic base obtained during the selection process, as they generated suitable crosses for responding in environmental conditions, both, favorable and adverse (Córdova, 1991).

In general, good productive potential of intervarietal crosses indicate that the male parents were those who influenced the most, since they had higher yield than female parents (Table 3); because males were selected semi-warm conditions. VE-1 and VE-3 male parents can be considered as valuable in the selection of outstanding individuals for the improvement of grain yield and for stability maintaining. The contribution of female parents was the heterosis, and crosses with VS-529 (V19) and SINT-3-HE (V17), showed consistency and stability in yield, as suggested by Mejia and Molina (2003). Male and female parents were placed in different groups because they differed in their stability parameters ( $b_i$  y  $S^2_{di}$ ).

The local varieties of the farmers (V13 equivalent to Pepitilla maize) showed acceptable responses in their home environments, as these are adapted to specific environmental conditions and in some cases they overcame the intervarietal crosses in grain yield. The inconsistency shown might be due to the yield and agronomic behavior



De manera general, el buen potencial productivo de las cruces intervarietales, indica que los progenitores masculinos fueron los que tuvieron mayor influencia, ya que en forma *per sé* presentaron mayor rendimiento que los progenitores femeninos (Cuadro 3), debido a que los machos fueron seleccionados en condiciones semicálidas. Los progenitores masculinos VE-1 y VE-3, pueden considerarse como valiosas en la selección de individuos sobresalientes para el mejoramiento del rendimiento de grano y mantenimiento de la estabilidad. La contribución de los progenitores femeninos fue aportar heterosis y las cruces con VS-529 (V19) y SINT-3-HE (V17), mostraron consistencia y estabilidad en rendimiento, como lo sugieren Mejía y Molina (2003). Los progenitores hembras y machos se ubicaron en diferentes grupos, debido que difirieron en sus parámetros de estabilidad ( $b_i$  y  $S^2_{di}$ ).

of Pepitilla maize of each farmer showed a different expression of their productive potential in each year and testing environment; i. e., these maize of Pepitilla race were provided by different farmers in each locality, which were included for evaluation in each year and test environment.

### AMMI analysis

In the combined analysis of variance for 20 varieties and 16 environments using AMMI method, highly significant differences ( $p < 0.01$ ) were detected in all sources of variation for grain yield (Table 4). Noting that, 9.6% of the total sum of squares was attributed to effects of the varieties, while the environmental effects and variety-environment interaction ( $I_{V \times A}$ ) accounted for 55.24 and 17.62%.

**Cuadro 3. Rendimiento promedio (primera línea) y parámetros de estabilidad (segunda línea) de 19 variedades de maíz evaluadas en 16 ambientes. Primavera-verano 2005-2009.**

**Table 3. Average yield (first line) and stability parameters (second line) of 19 maize varieties evaluated in 16 environments. Spring-Summer 2005-2009.**

Progenitores hembra (♀)	Progenitores macho (♂)			<i>Per sé</i> (♀)
	CIST	VE-1	VE-3	
SINT-3-HE	(V1) 6.268 a	(V5) 6.236 a	(V9) 6.146 a	(V17) 5.219
$b_i$ y $S^2_{di}$	= 1, > 0	> 1, > 0	= 1, = 0	= 1, > 0
VS-521	(V2) 5.709	(V6) 6.116 a	(V10) 6.235 a	(V18) 5.208
$b_i$ y $S^2_{di}$	< 1, = 0	= 1, > 0	= 1, > 0	= 1, > 0
VS-529	(V3) 6.221 a	(V7) 6.294 a	(V11) 6.324 a	(V19) 5.095
$b_i$ y $S^2_{di}$	= 1, = 0	= 1, = 0	< 1, = 0	< 1, > 0
HEI-1	(V4) 6.061 a	(V8) 6.035 a	(V12) 5.947	(V20) 4.587
$b_i$ y $S^2_{di}$	= 1, > 0	> 1, > 0	= 1, = 0	= 1, > 0
<i>Per se</i> (♂)	(V14) 5.701	(V15) 5.722	(V16) 5.939	
$b_i$ y $S^2_{di}$	< 1, > 0	= 1, = 0	= 1, = 0	
DMS (cruzas) = 0.299				

V= variedad; A= variedad estable y consistente ( $b_i = 1, S^2_{di} = 0$ ); B= estable pero inconsistente ( $b_i = 1; S^2_{di} > 0$ ); C= responde mejor en ambientes desfavorables y consistente ( $b_i < 1, S^2_{di} = 0$ ); D= responde mejor en ambientes desfavorables e inconsistente ( $b_i < 1; S^2_{di} > 0$ ); E= responde mejor en buenos ambientes y consistente ( $b_i > 1, S^2_{di} = 0$ ); F= responde mejor en buenos ambientes e inconsistente ( $b_i > 1, S^2_{di} > 0$ ).

Las variedades locales de los agricultores (V13 equivalente a maíz pepitilla) mostraron respuestas aceptables en sus ambientes de origen, dado que estas son adaptadas a las condiciones ambientales específicas, y en algunos casos lograron superar a las cruces intervarietales en rendimiento de grano. La inconsistencia mostrada en ellas, se atribuye que el rendimiento y comportamiento agronómico del maíz pepitilla de cada agricultor, manifestó relativamente diferente la expresión de su potencial productivo en cada año y ambiente de evaluación; es decir, estos maíces de raza

The  $I_{V \times A}$  significance shows that the varieties had different behavior in the tested environments. These results suggest that at least one variety interacted more with the environments, but it is also possible that some variety have high or low production potential, stable and consistent, as noted in the results of the analysis of stability parameters (Eberhart and Russell, 1966).

The biplot graphic shows the varieties dispersion in terms of average yield, based on the coordinates of the first principal component (PC1), where the varieties V5,

pepitilla fueron proporcionados por distintos agricultores de cada localidad, las cuales se incluyeron para su evaluación en cada año y ambiente de prueba.

### Análisis AMMI

En el análisis de varianza combinado para 20 variedades y 16 ambientes, usando el método AMMI, se detectaron diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) en todas las fuentes de variación para rendimiento de grano (Cuadro 4). Observando que 9.6% de la suma de cuadrados total, fue atribuida a efectos de las variedades; mientras que los efectos ambientales e interacción variedad por ambiente ( $I_{V \times A}$ ) representaron 55.24 y 17.62%.

**Cuadro 4. Análisis de varianza AMMI para 20 variedades de maíz evaluadas en 16 ambientes del estado de Guerrero. Primavera-verano, 2005 - 2009.**

**Table 4. AMMI analysis of variance for 20 maize varieties evaluated in 16 environments of Guerrero. Spring-Summer 2005 to 2009.**

Fuente de variación	Gl	SC	CM	(%) SC	Media	CV (%)
Ambientes (A)	15	1228.6	81.91**	55.24	5.864	13.32
Variedades (V)	19	213.56	11.24**	9.6		
Interacción V*A	285	391.81	1.38**	17.62		
CP1	33	88.61	2.69**	22.62		
CP2	31	69.37	2.24**	17.71		
CP3	29	54.19	1.89**	13.83		
Residual	608	341	0.56	15.33		

La significancia de la  $I_{V \times A}$  muestra que las variedades tuvieron un comportamiento diferencial en los ambientes de prueba. Estos resultados sugieren que al menos una variedad interaccionó más con los ambientes, pero también es posible que alguna variedad sea de alto o bajo potencial productivo, estable y consistente, como se observó en los resultados de él análisis de parámetros de estabilidad (Eberhart y Russell, 1966).

En la gráfica biplot se puede apreciar la dispersión de las variedades en función del rendimiento promedio, con base a las coordenadas del primer componente principal (CP1), donde las variedades V5, V13, V14, V17, V18 y V20 presentaron valores absolutos superiores a 0.4 sobre el CP1 y se infiere que éstas variedades contribuyeron en mayor grado a la  $I_{V \times A}$  (Figura 1), éstas mismas variedades fueron detectadas en el análisis de parámetros de estabilidad como inconsistentes.

En el análisis AMMI se identificaron ocho variedades con valor del CP1 menor al valor absoluto 0.2, y se atribuye que estas presentaron efectos pequeños de  $I_{V \times A}$  (Crossa *et al.*,

V13, V14, V17, V18 and V20 had absolute values greater than 0.4 on the CP1 and it is inferred that these varieties contributed most to the  $I_{V \times A}$  (Figure 1), these same varieties were detected in the analysis of stability parameters as inconsistent.

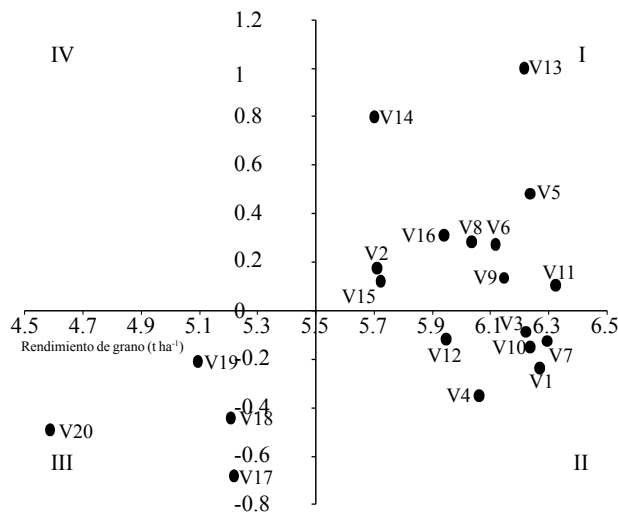
With the AMMI analysis, eight varieties with PC1 value less than absolute value 0.2 were identified and is attributed to their  $I_{V \times A}$  small-effects (Crossa *et al.*, 1990; Medina *et al.*, 2002); five of them (V3, V7, V9, V12 and V15) were stable by Eberhart and Russell (1966) analysis. The varieties V2, V10 and V11, showed low values for PC1, with yields of 5.709, 6.235, 6.324 t ha<sup>-1</sup>, respectively; the first two were consistent and showed good response in

hostile environments, while the third one showed a good response for all environments, but it was inconsistent (Table 3 and Figure 1).

The varieties V4, V5, V13, V14, V17, V18 and V20 together with A11 (Olinala 2008), A9 (Olinala 2006), A4 (Ahuacatitlan 2008) and A13 (Teloloapan 2006) environments, contributed most to the  $I_{V \times A}$ , reinforcing the fact that these varieties were sensitive to environmental changes in the evaluation sites (Figure 2).

Regarding to the environments, Yan *et al.* (2000), indicate that those who exhibit an angle smaller than 90°, have the quality to classify the varieties in the same manner; so, in this paper the results obtained suggest that, appropriate environments for the evaluation of varieties can be chosen. Based on the length of the vectors of each environment, the locations that best discriminated the varieties (Figure 2), were Ahuacatitlan 2006, Olinala 2006, Santa Ana 2007, Teloloapan 2007 and Iguala 2008 (A4, A6, A9, A11 and A13), according to the criteria used by Kempton (1984); Yan *et al.* (2000).

1990; Medina *et al.*, 2002); cinco de ellas (V3, V7, V9, V12 y V15) fueron estables por análisis de Eberhart y Russell (1966). Las variedades V2, V10 y V11 mostraron valores bajos para el CP1, con rendimientos de 5.709, 6.235, 6.324 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente; las dos primeras fueron consistentes y mostraron buena respuesta en ambientes desfavorables, mientras que la tercera presentó buena respuesta en todos los ambientes, pero fue inconsistente (Cuadro 3 y Figura 1).

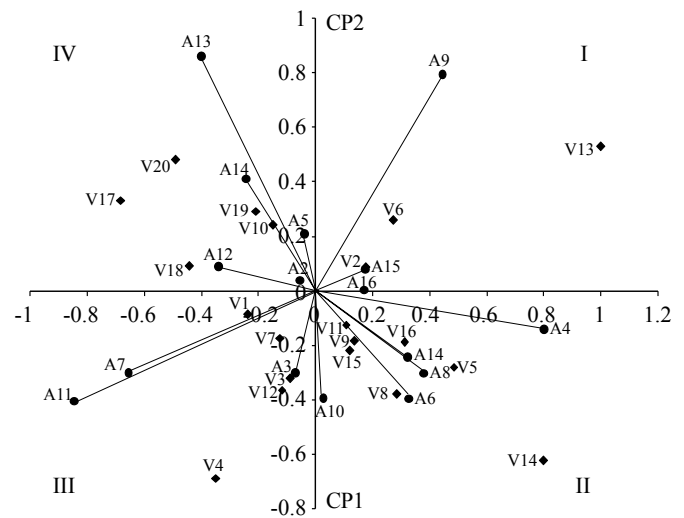


**Figura 1. Gráfica del CP1 en función del rendimiento promedio de 20 variedades evaluadas en 16 ambientes de la región semicálida del estado de Guerrero. Primavera-verano, 2005-2009.**

**Figure 1. CP1 graphic based on the average yield of 20 varieties tested in 16 environments in the semi-warm region of Guerrero state. Spring-Summer, 2005-2009.**

Las variedades V4, V5, V13, V14, V17, V18 y V20 en conjunto con los ambientes A11 (Olinalá 2008), A9 (Olinalá 2006), A4 (Ahuacatitlán 2008) y A13 (Teloloapan 2006), contribuyeron en mayor grado a la  $I_{V \times A}$ , reforzando el hecho de que estas variedades fueron sensibles a los cambios ambientales en los sitios donde fueron evaluadas (Figura 2).

Respecto a los ambientes, Yan *et al.* (2000) señalan que aquellos que exhiben un ángulo menor de 90°, tienen la cualidad de clasificar a las variedades de manera semejante; por lo que en este trabajo los resultados obtenidos sugieren que se puede elegir ambientes idóneos para la evaluación de las variedades. Con base en la longitud de los vectores de cada ambiente, las localidades que mejor discriminaron a las variedades (Figura 2) fueron Ahuacatitlán 2006, Olinalá 2006, Santa Ana 2007, Teloloapan 2007 e Iguala 2008 (A4, A6, A9, A11 y A13), de acuerdo con los criterios aplicados por Kempton (1984); Yan *et al.* (2000).



**Figura 2. Gráfica de CP1 y CP2 de 20 variedades evaluadas en 16 ambientes de la región semicálida del estado de Guerrero. Primavera-verano, 2005-2009.**

**Figure 2. CP1 and CP2 graphic of 20 varieties evaluated in 16 environments in the semi-warm region of Guerrero state. Spring-Summer, 2005-2009.**

Moreover, eight varieties that showed a trend close to zero were detected and strictly, the varieties V2, V7, V9 and V11 are considered the most stable and consistent across evaluation environments (Figure 2). In addition, it's noteworthy that, in assessing the same genetic material in more than two years in the same environments, the results in an relatively variable expression of the productive potential of each variety and a tendency of discrimination against materials in contrasting environments. This result suggests to evaluating varieties for several cycles in one location before taking any decision for its commercial use.

**CONCLUSIONS**

The stability parameters allowed the identification and characterization of the varieties into five groups. Six varieties showed stability and consistency; four of them were intervarietal crosses and two were male parents. The VS-529\*VE-3 cross responded better in hostile environments, it also showed consistency to environmental changes and it was the one who expressed the greatest potential for grain yield.

Twelve varieties were susceptible to adverse changes, including the farmer's local variety and three female parents. The AMMI analysis yielded information on

Por otra parte, se detectaron ocho variedades que mostraron una tendencia cercana a cero y en sentido estricto, las variedades V2, V7, V9 y V11 se consideran como las más estables y consistentes en los ambientes donde fueron evaluadas (Figura 2). Además, se puede señalar que al evaluar el mismo material genético en más de dos años en los mismos ambientes, resulta en una expresión del potencial productivo de cada variedad relativamente variable y una tendencia de discriminación de los materiales en los ambientes contrastantes. Este resultado sugiere evaluar variedades por varios ciclos en una misma localidad antes de tomar alguna decisión para su uso comercial.

## CONCLUSIONES

Los parámetros de estabilidad permitieron identificar y caracterizar a las variedades en cinco grupos. Seis variedades mostraron estabilidad y consistencia; cuatro fueron cruza intervarietales y dos progenitores masculinos. La cruza VS-529\*VE-3 respondió mejor en ambientes desfavorables, además mostró consistencia a los cambios ambientales y fue la que expresó el mayor potencial de rendimiento de grano.

Doce variedades fueron sensibles a los cambios desfavorables, en este grupo se incluyó la variedad local del agricultor y tres progenitores femeninos. El análisis AMMI permitió conocer la contribución de cada fuente de variación y detectó variedades de buen potencial productivo, estables y consistentes a través de ambientes. Los dos métodos usados en este estudio mostraron resultados semejantes, por lo que fue posible elegir tres variedades como deseables por su buen potencial genético para rendimiento de grano y estabilidad.

## LITERATURA CITADA

- Alcazar, A. J. J. y Sierra, M. M. 1984. Evaluación de variedades tropicales de maíz de planta baja en el estado de Veracruz. *Rev. Fitotec. Mex.* 6:24-35.
- Ali, N.; Javidfar, F. and Mirza, Y. 2003. Selection of stable rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes through regression analysis. *Pak. J. Bot.* 35:175-183.
- Becker, H. C. and Leon, J. 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breed.* 101:1-23.

the contribution of each source of variation and found varieties with good yield potential, stables and consistent through the environments. The two methods used in this paper showed similar results; so, it was possible to choose three varieties as desirable due to its good genetic potential for grain yield and stability.

*End of the English version*



- Byth, D. E. 1981. A conceptual basis of genotypic x environment interactions for plant improvement. *In: Byth, D. E. and Mungomery, V. E. (eds.). Interpretation of plant response and adaptation to agricultural environments. Australian Institute of Agricultural Science.* 254-265 pp.
- Carballo, C. A. y Márquez, S. F. 1970. Comparación de variedades de maíz de El Bajío y la Mesa Central por su rendimiento y estabilidad. *Agrociencia.* 5:129-146.
- Córdova, S. H. 1991. Estimación de parámetros de estabilidad para determinar la respuesta de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) a ambientes contrastantes de Centro América, Panamá y México. *Agron. Mesoamericana.* 2:1-10.
- Gauch, H. and Zobel, R. 1988. Predictive and postdictive success of statistical analysis of yield trials. *Theor. Appl. Genet.* 79:753-761.
- Crossa, H. J.; Gauch, H. and Zobel, R. 1990. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Sci.* 30:493-500.
- De León, C. H.; Rincón, S. F.; Reyes, V. M. H.; Garduño, D. S.; Martínez, Z. G.; Cavazos, C. R. y Figueroa, C. J. D. 2005. Potencial de rendimiento y estabilidad de combinaciones germoplásmicas formadas entre grupos de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 28:135-143.
- Eberhart, S. A. and Russell, W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6:36-40.
- Fikere, M.; Tadesse, T. and Letta, T. 2008. Genotype-environment interactions and stability parameters for grain yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes grown in South Eastern Ethiopia. *Int. J. Sustain. Crop Prod.* 3(6):80-87.

- Finlay, K. W. and Wilkinson, G. N. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.* 14:742-754.
- García, M. E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4<sup>ta</sup> edición. UNAM. D. F., México. 217 p.
- Gollob, H. F. 1968. A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance techniques. *Psychometrika.* 33:73-115.
- Kempton, R. A. 1984. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *J. Agric. Sci.* 103:123-135.
- Medina, S.; Marín, C.; Segovia, V.; Bejarano, A.; Venero, Z.; Ascanio, R. y Meléndez, E. 2002. Evaluación de la estabilidad del rendimiento de variedades de maíz en siete localidades de Venezuela. *Agron. Trop.* 52(3):255-275.
- Mejía, C. J. A. y Molina, G. J. D. 2003. Cambios de estabilidad en el rendimiento de variedades tropicales de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:89-94.
- Molina, G. J. D. 1992. Introducción a la genética de poblaciones y cuantitativa. AGT editor S. A., D. F., México. 349 p.
- Preciado, O. R. E.; Ortega, C. A.; Betanzos, M. E.; Ramírez, D. J. L.; Peña, R. A.; Gómez, M. N. O. y Velázquez, C. G. 2004. Acciones para la reorganización del programa nacional de mejoramiento genético de maíz del INIFAP. 41 p.
- Statistical Analysis System (SAS Institute). 2002. The SAS System for Windows. SAS Institute Inc. Cary, NC 27513, USA.
- Yan, W. L.; Hunt, A.; Sheng, Q. and Szlavnic, Z. 2000. Cultivars evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot. *Crop Sci.* 40:597-605.